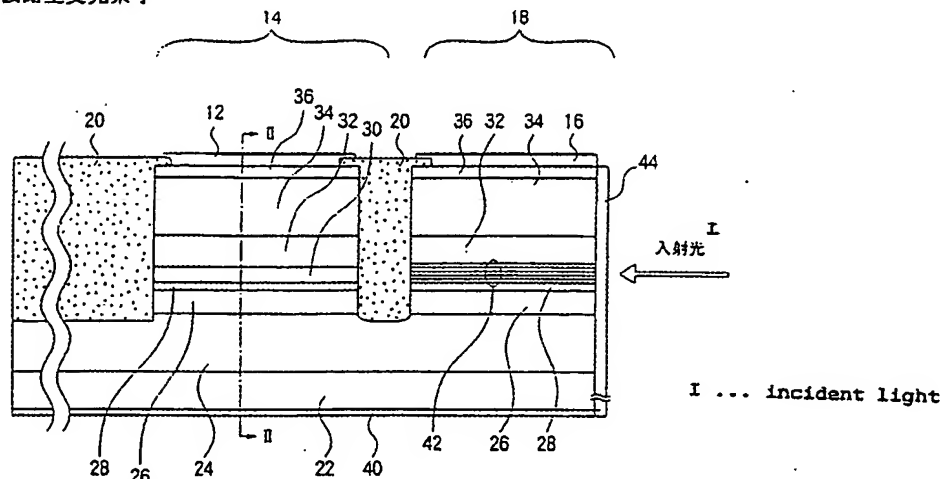




(51) 国際特許分類6 H01L 31/10, G02F 1/025		A1	(11) 国際公開番号 WO97/08757
			(43) 国際公開日 1997年3月6日(06.03.97)
(21) 国際出願番号 PCT/JP96/02425		(74) 代理人 弁理士 稲垣 清(INAGAKI, Kiyoshi) 〒101 東京都千代田区神田東松下町37番地 林道ビル5階 Tokyo, (JP)	
(22) 国際出願日 1996年8月29日(29.08.96)			
(30) 優先権データ 特願平7/243725 1995年8月29日(29.08.95)		JP	(81) 指定国 CN, US, 欧州特許 (FR).
(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 古河電気工業株式会社 (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.)[JP/JP] 〒100 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 Tokyo, (JP)		添付公開書類 国際調査報告書 請求の範囲の補正の期限前であり、補正書受領の際には再公開される。	
(72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 入川理徳(IRIKAWA, Michinori)[JP/JP] 〒220 神奈川県横浜市金沢区並木2-6-3-202 Kanagawa, (JP) 西片一昭(NISHIKATA, Kazuaki)[JP/JP] 〒221 神奈川県横浜市神奈川区三ツ沢西町1-1 古河社宅1-17 Kanagawa, (JP) 野村剛彦(NOMURA, Takehiko)[JP/JP] 〒221 神奈川県横浜市神奈川区三ツ沢西町1-1 古河社宅1-16 Kanagawa, (JP)			

(54)Title: WAVEGUIDE TYPE PHOTODETECTOR

(54)発明の名称 導波路型受光素子



## (57) Abstract

A waveguide type photodetector (10) of a wide dynamic range, comprising a detector section (14), an attenuator section (18) and a transparent separator section (20) for electrically isolating the detector section and the attenuator section. The detector section includes an n-type light guide layer (28) and an i-type light absorption layer (30), and paired n- and p-type layers (26 and 32) for optical confinement sandwiching the layers (28 and 30) on a substrate (22), so as to form a double-hetero-structure. The attenuation section has the same layer structure as the detector section with the exception that the light absorption layer is formed by a strained MQW layer, and an electrode (16) for absorption control and an electrode (40) are disposed on the front and back surface of the substrate. The detector section, the light absorption layer of the attenuator section and the waveguide constitute a ridge structure with the optical confinement structure in a vertical direction, and form the confinement structure in the horizontal direction. A reverse bias voltage is applied to the electrodes of the attenuator section to control the degree of absorption of incident light to the attenuator section so that the intensity of light propagated to the detector section may be controlled.

(57) 要約

導波路型受光素子(10)は、光検出部(14)と、光減衰部(18)と、光検出部と光減衰部とを電氣的に分離する光透過性電氣的分離部(20)とから構成されている。光検出部は、基板(22)上に、n-光ガイド層(28)及びi-光吸収層(30)と、それを挟むn-とp-の対の光閉じ込め層(26、32)を備え、ダブルヘテロ構造を形成している。光減衰部は、光吸収層が歪MQW層で形成されていることを除いて光検出部と同じ層構造を備え、基板の上下には吸収制御用電極(16)と電極(40)が設けられている。光検出部及び光減衰部の光吸収層及び導波路は、上述のように垂直(縦)方向の光閉じ込め構造と共にリッジ構造を形成して水平方向の閉じ込め構造を形成している。光減衰部の電極に逆方向バイアス電圧を印加することにより、光減衰部の入射光の吸収度を制御し、光検出部へ伝搬される光の強度を制御できる。広ダイナミックレンジ特性を備えた導波路型受光素子が得られる。

情報としての用途のみ

PCTに基づいて公開される国際出願をパンフレット第一頁にPCT加盟国を同定するために使用されるコード

AL	アルバニア	DE	ドイツ	LI	リヒテンシュタイン	PL	ポーランド
AM	アルメニア	DK	デンマーク	LC	セントルシア	PT	ポルトガル
AT	オーストリア	EE	エストニア	LK	スリランカ	RO	ルーマニア
AU	オーストラリア	ES	スペイン	LR	リベリア	RU	ロシア連邦
AZ	アゼルバイジャン	FI	フィンランド	LS	レソト	SD	スーダン
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	FR	フランス	LT	リトアニア	SE	スウェーデン
BB	バルバドス	GA	ガボン	LU	ルクセンブルグ	SG	シンガポール
BE	ベルギー	GB	イギリス	LV	ラトヴィア	SI	スロヴェニア
BF	ブルキナ・ファソ	GE	グルジア	MC	モナコ	SK	スロヴァキア
BG	ブルガリア	GN	ギニア	MD	モルドヴァ共和国	SN	セネガル
BJ	ベナン	GR	ギリシャ	MG	マダガスカル	SZ	スワジランド
BR	ブラジル	HU	ハンガリー	MK	マケドニア旧ユーゴスラ	TD	チャド
BY	ベラルーシ	IE	アイルランド	ML	マリ	TG	トーゴ
CA	カナダ	IL	イスラエル	MN	モンゴル	TJ	タジキスタン
CF	中央アフリカ共和国	IS	アイスランド	MR	モリタニア	TM	トルクメニスタン
CG	コンゴ	IT	イタリア	MW	モザンビーク	TR	トルコ
CH	スイス	JP	日本	MX	メキシコ	TT	トリニダード・トバゴ
CI	コート・ジボアール	KE	ケニア	NE	ニジェール	UA	ウクライナ
CM	カメルーン	KG	キルギスタン	NL	オランダ	UG	ウガンダ
CN	中国	KP	朝鮮民主主義人民共和国	NO	ノルウェー	US	アメリカ合衆国
CU	キューバ	KR	大韓民国	NZ	ニュージーランド	UZ	ウズベキスタン
CZ	チェコ共和国	KZ	カザフスタン			VN	ヴェトナム

## 明細書

## 導波路型受光素子

技術分野

本発明は、導波路型受光素子に関し、更に詳細には入射光の強度に応じて入射光を所定レベルに減衰させることにより、AM-FDM方式のシステム等の光通信システムに最適な、広帯域にわたり優れた歪特性を備えた導波路型受光素子に関するものである。

背景技術

光CATVシステムを含む光通信システムでは、AM (Amplitude Modulation) - FDM (Frequency Division Multiplex) 方式を使用して、振幅変調方式周波数多重を行っている。

従来、このような方式の光通信システムでは、図11に示すような面入力型のpinホトダイオードが用いられて来た。この面入力型のpinホトダイオードでは、InGaAs層で形成された吸収層は、十分な光吸収効率を得るために、厚い層厚に設定され、通常、約 $3\mu\text{m}$ の厚さになっている。キャリアはこの厚い吸収層を走行するため走行時間が長くなって、応答速度が遅くなり、また十分な感度を得るには広い受光面積を必要とすることから、キャパシタンスが大きくなるため、良好に動作する帯域は2GHz以下になる。

しかし、上述のAM-FDM方式では、広帯域でしかも低歪特性の受光素子が必要とされている。

そこで、最近、図12に示すような導波路型pinホトダイオードが注目されている。図12(a)は導波路型pinホトダイオードの概略斜視図を示し、図12(b)はその層構造及び各層の屈折率を示している。

この受光素子では、第1には、導波路の端面に形成された光入射面で入射光を受光し、導波路を伝搬中に吸収するので、光吸収層を $0.6\mu\text{m}$ 程度に薄くでき、しかも入射光の光密度を高くして受光領域の面積を小さくすることができるので、キャパシタンスは小さくなる。第2には、ノンドープInGaAs層で形成

された光吸収層は、高濃度で不純物をドーブした p-InGaAsP 層と n-InGaAsP 層との対により、光吸収層の上下両面で挟まれているので、帯域は、薄いノンドーブ InGaAs 層のキャリア走行時間で決まる。

よって、このような導波路型受光素子では、50GHz 以上にも及ぶ広帯域で超高速動作が可能である。

しかし、アナログ光伝送システムで使用する受光素子に要求される重要な特性の一つが広ダイナミックレンジ特性であるにもかかわらず、従来の導波路型 pin ホトダイオードは、満足できる広ダイナミックレンジ特性を備えていない。即ち、微小信号強度の受光に対して十分な感度を有するように構成された受光素子は、強度の高い大振幅光信号を受光した場合には、光信号と変換された光電流との相関関係に関し、その線型性が損なわれ、歪特性が低下する。

このため、このような受光素子には入力光信号の強度が制限されるという問題が生じる。

以上のような問題に照らして、本発明の目的は、広ダイナミックレンジ特性を備えた導波路型受光素子を提供することである。

#### 発明の開示

本発明者等は、従来の導波路型 pin ホトダイオードの光変換領域の構成を改良するだけでは、広ダイナミックレンジ特性を実現できないと考え、寧ろ、光変換領域に伝搬させる光の強度を制御するべきであると判断した。そして、本発明者等は、入射光の強度に合わせて光変換領域に伝搬させる光の強度を制御するために、光変換領域に伝搬させる入射光の一部を吸収する光減衰部を設けることに着目した。

上記目的を達成するために、上述の知見に基づき、本発明に係る導波路型受光素子は、第1の光吸収層と、電気信号取り出しのための第1の電極対とを少なくとも有する光検出部と、及び

光検出部と光入射面との間に設けられ、第1の光吸収層と光学的に結合された第2の光吸収層と、第2の光吸収層に電圧を印加するために第1の電極対とは電氣的に分離して形成された第2の電極対とを少なくとも有する光減衰部と

を備えることを特徴としている。

本発明によれば、化合物半導体上に光検出部と光減衰部とを設けた導波路型受光素子により、入射光の強度に応じて光減衰部にて入射光の一部を吸収して減衰させ、光検出部に伝搬される光の強度を調整し、光検出部の受光感度を制御している。これにより、微小信号強度の受光に対して十分な感度を有するように構成した受光素子が、強度の高い大振幅光信号を受光した場合でも、入射光を適度に減衰させることにより、受光素子の線型性を維持し、従って優れた歪特性を維持できる。従って、信号レベルに高低のある入力光に対しても良好な歪特性を持つ、広ダイナミックレンジ特性に優れた導波路型受光素子を実現している。

光減衰部の光吸収層を所定の吸収端波長を有する多重量子井戸構造又は歪超格子構造で形成し、逆方向バイアス電圧を光減衰部に印加することにより、光減衰部の光吸収量を可変にすることができる。

また、第2の光吸収層を歪超格子構造で形成することにより、光減衰部の原水量の偏波依存性を抑制することができる。更には、第2の電極に逆方向バイアス電圧を印加し、光減衰部での入射光の減衰の程度を可変にすることにより、光検出部の感度を電気的には制御できる。電気分離部を設けることにより、光検出部の暗電流の強度を低下させ、加えて光減衰部と光検出部との接続部での反射を抑制することができる。モード・フィールド変換部を設けることにより、光ファイバ等の外部導波体と本発明に係る導波路型受光素子との結合損失を低減することができる。

本発明に係る導波路型受光素子は、広帯域でしかも低歪特性を有しているので、例えばAM-FDM方式のシステム等の光通信システムに最適である。

本発明において、光検出部の第1の光吸収層と光減衰部の第2の光吸収層とが光学的に結合されている限り、第1の光吸収層と第2の光吸収層とを結ぶ光導波路を別途設ける必要は無い。但し、光検出部と光減衰部との導波特性を向上させるために、光導波路を設けることもできる。

第1の電極対と第2の電極対とを電気的に分離する手段は、例えば第1の光吸収層のクラッド層と第2の光吸収層のクラッド層との接合面をpn接合にして、第1の光吸収層のクラッド層に接する第1の電極対と第2の光吸収層のクラッド

層に接する第 2 の電極対とを電氣的に分離する手段、化合物半導体、半絶縁性化合物半導体又は絶縁性有機材からなる電氣的分離層を第 1 の電極対と第 2 の電極対との間に介在させて電氣的に分離する手段等を例に挙げることができる。

本発明の好適な実施態様は、前記光減衰部の第 2 の光吸収層が、前記光検出部の第 1 の光吸収層の吸収端波長より短い吸収端波長を有する多重量子井戸構造で形成されているか、または前記光減衰部の第 2 の光吸収層が、前記光検出部の第 1 の光吸収層の吸収端波長より短い吸収端波長を有する歪超格子構造で形成されていることを特徴としている。

第 2 の電極対間に逆方向バイアスで電圧を印加することにより、光減衰部は、印加した逆方向バイアス電圧の大きさに基づき一定の相関関係に従って光吸収量に変化する可変光減衰部として構成され、入射光の強度に応じて、逆方向バイアス電圧の大きさを調整することにより、光検出部に伝搬する光の強度を調節して、光検出部の感度を電氣的に制御できる。

本発明の更に別の好適な実施態様は、前記光減衰部と前記光入射面との間にモードフィールド変換器が設けられていることを特徴としている。モード・フィールド変換器を備えることにより、外部導波体と本発明に係る導波路型受光素子との結合効率を高くすることができる。

本発明の更に別の好適な実施態様は、電氣的分離部の光の伝搬方向の光路長が、入射光の波長の  $1/2$  の長さの整数倍に設定されていることを特徴としている。光路長を  $1/2$  波長の整数倍に設定することより、電氣的分離部内の光の減衰を抑制することができる。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は、本発明に係る導波路型受光素子の実施例 1 の平面図である。

図 2 は、図 1 の導波路型受光素子の線 I-I、即ち導波路の伝搬方向に沿った断面構造を示す断面図である。

図 3 は、図 1 及び図 2 の導波路型受光素子の線 II-II での断面図である。

図 4 は、横軸には波長を、縦軸には吸収係数を取った、実施例 1 の動作原理を説明するグラフである。

図 5 は、本発明に係る導波路型受光素子の実施例 2 の層構造を示す断面図である。

図 6 は、本発明に係る導波路型受光素子の実施例 3 の層構造を示す断面図である。

図 7 は、本発明に係る導波路型受光素子の実施例 3 の作製工程を説明する基板断面図である。

図 8 (a) は、図 7 に続く、実施例 3 の作製工程を説明する基板断面図、図 8 (b) は図 8 (a) の平面図である。

図 9 は、図 8 (a) 及び (b) に続く、実施例 3 の作製工程を説明する基板断面図である。

図 10 は、本発明に係る導波路型受光素子の実施例 4 の層構造を示す断面図である。

図 11 は、従来の面入力型 pin ホトダイオードの層構造図である。

図 12 (a) は従来の導波路 pin ホトダイオードの斜視図、図 12 (b) はその導波路 pin ホトダイオードの層構造図である。

#### 発明を実施するための好適な態様

以下、添付図面を参照し、実施例に基づいて本発明をより詳細に説明する。

#### 実施例 1

図 1 は本発明に係る導波路型受光素子の実施例 1 の平面図、図 2 は図 1 の導波路型受光素子の線 I-I、即ち導波路の光伝搬方向に沿った断面構造を示す断面図、図 3 は図 1 及び図 2 の導波路型受光素子の線 II-II での断面図である。

本実施例の導波路型受光素子 10 (以下、簡単に素子 10 と言う) は、図 1 に示すように、オーミックコンタクトする光検出用 p-電極 (以下、光検出電極と略称する) 12 を含む光検出部 14 と、オーミックコンタクトする吸収制御用 p-電極 (以下、吸収制御電極と略称する) 16 を含む光減衰部 18 と、ポリイミドで形成され、光検出部 14 と光減衰部 18 とを電氣的に分離する光透過性電氣的分離部 20 とから構成されている。

光検出部 14 は、図 2 の左側及び図 3 に示すように、 $n$ -InP 基板 22 上にダブルヘテロ構造を形成するように順次積層された、 $n$ -InP 層 24、 $n$ -AlGaInAs 光閉じ込め層 26、 $n$ -GaInAsP 光ガイド層 28、 $i$ -GaInAsP 光吸収層 30、 $p$ -AlGaInAs 光閉じ込め層 32、 $p$ -InP 層 34、 $p$ -GaInAs コンタクト層 36、及び基板の上下にオーミックコンタクトするように設けられた光検出用の TiPtAu からなる  $p$ -電極 12 と、AuGeNi からなる  $n$ -電極 40 とで構成されている。

上述のように、光検出部 14 の光吸収層及び導波路は、垂直（縦）方向に関して光閉じ込め構造を有するように形成されていると共に、図 3 に示すように、水平方向に関してもリッジ構造を形成して閉じ込め構造を有するように形成されている。

光減衰部 18 は、光吸収層が歪 MQW 層で形成されていることを除いて、光検出部 14 の層構造と同じ層構造を備えている。詳細には、光減衰部 18 は、図 2 の右側に示すように、 $n$ -InP 基板 22 上に光検出部 14 と共通に積層された  $n$ -InP 層 24、 $n$ -AlGaInAs 光閉じ込め層 26、 $n$ -GaInAsP 光ガイド層 28 と、その上に積層された  $i$ -GaInAs 層及び AlInAs 層からなる歪 MQW 層 42 と、更にその上に光検出部 14 と共通に積層された  $p$ -AlGaInAs 光閉じ込め層 32、 $p$ -InP 層 34、 $p$ -GaInAs コンタクト層 36、及び基板の上下に設けられた吸収制御用  $p$ -電極 16 と光検出部 14 と共通の  $n$ -電極 40 で構成されている。尚、光検出部 14 と共通の  $n$ -電極 40 に代えて、光減衰部 18 の  $n$ -電極を別に設けてもよい。

光減衰部 18 において、 $n$ -GaInAsP 光ガイド層 28 は導波路として、 $i$ -GaInAs 層及び AlInAs 層からなる歪 MQW 層 42 は、光吸収層としてそれぞれ機能する。

光検出部 14 と同様に、光減衰部 18 の光吸収層及び導波路は、垂直（縦）方向に関して光閉じ込め構造を有するように形成されていると共に、水平方向に関してもメサストライプ構造の光閉じ込め構造を有するように形成されている。

また、 $n$ -GaInAsP 光ガイド層 28 の端面を含む素子 10 の光減衰部 18 側端面は、入射光を受光する光入射面を構成し、その面には反射防止膜 44 が

設けてある。

光検出部 14 と光減衰部 18 とは、電気的分離部 20 により電気的に分離されている。なお、電気的分離部 20 は、ポリイミドで形成され、電気的分離性と光透過性とを兼ね備えている。

光減衰部 18 と光検出部 14 との間の電気的分離部 20 の光の伝搬方向の厚さ、即ち光路長は、光減衰部 18 から光検出部 14 へ伝播する光の反射が最も小さくなるように、 $N \times (1/2) \times (\lambda/n_0)$  とすることが望ましい。ここで、 $\lambda$  は入射信号光の波長、 $n_0$  は電気的分離部 20 を形成するポリイミドの屈折率、 $N$  は整数である。

以下に、素子 10 の作成方法を簡単に説明する。

(1) 先ず、エピタキシャル成長法により  $n$ -InP 基板 22 上に順次、 $n$ -InP 層 24、 $n$ -AlGaInAs 光閉じ込め層 26、 $n$ -GaInAsP 光ガイド層 28、 $i$ -GaInAsP 光吸収層 30、 $p$ -AlGaInAs 光閉じ込め層 32 を成膜する。

(2) 次いで、 $p$ -AlGaInAs 光閉じ込め層 32 上に  $SiO_2$  膜からなるマスクを形成し、光減衰部 18 を形成する領域にある  $p$ -AlGaInAs 光閉じ込め層 32、 $i$ -GaInAsP 光吸収層 30 をエッチングして除去する。続いて、 $SiO_2$  マスクを成長防止マスクとして使用して、MOCVD 法、ガスソース MBE 法等により、歪 MQW 層 32 を構成する  $i$ -GaInAs 層及び AlInAs 層、更に  $p$ -GaInAsP 光閉じ込め層 32 を選択成長する。

(3)  $SiO_2$  マスクを除去し、 $p$ -GaInAsP 光閉じ込め層 32、 $p$ -InP クラッド層 34、 $p$ -GaInAsP コンタクト層 36 を全面成長させる。

(4) 光検出部 14 及び光減衰部 18 をエッチングしてメサストライプ構造を形成し、次いで、必要な領域にポリイミドを塗布し、次いで不要部分のポリイミドをホトリソグラフィ及びエッチングにより除去して電気的分離部 20 を形成する。更に、電極 12、16、40 を形成し、光入射面 44 に反射防止膜 44 をコーティングする。

これにより、図 1 から図 3 に示す実施例 1 の素子 10 を得ることができる。

図4は、横軸には波長を、縦軸には吸収係数を取って、実施例1の素子10の動作原理を説明するグラフである。光検出部14のi-GaInAsPで形成された光吸収層30は、 $1.6\mu\text{m}$ に吸収端波長を持ち、図4に示すような吸収スペクトル特性を有する。一方、i-GaInAs層及びAlInAs層からなる歪MQWで形成された光減衰部18の光吸収層42は、信号光の波長 $1.55\mu\text{m}$ よりわずかに短い吸収端波長を持つ。

歪MQW層42を挟むpn接合に逆方向バイアスを印加した時、量子閉じ込めシュタルク効果等により、歪MQW層42の吸収特性は、図4に示すように、長波側へシフトし、例えば2～3Vの印加電圧で10～20nm程度の長波長シフトを実現できる。

これは、印加逆方向バイアス電圧の大きさを変化させることにより、 $1.55\mu\text{m}$ の信号光に対する歪MQW層42の吸収量を、図4に示すように、可変的に精度良く制御できることを意味し、光減衰部18を可変減衰領域とすることができ。

従って、印加電圧と長波長シフトの関係を予め実験等により設定しておけば、印加電圧を調整することにより、素子10に入射した入射光を光減衰部18で入射光の強度に応じて所定のレベルに減衰させ、次いで光検出部14において光電流に変換して電気信号として検出することができる。

よって、本実施例を採用すれば、微小光信号強度の受光に対して十分な感度を有するように構成した受光素子であっても、入射光強度が大きい場合には、光減衰部18での減衰を大きくすることにより、逆に入射光強度が小さい場合には、光減衰部18での減衰を小さくすることにより、光検出部の感度を可変にでき、広帯域にわたり強度幅の広い信号光に対して光変換の線型性を損なわない広ダイナミックレンジ特性を備えることができる。

## 実施例2

本実施例の導波路型受光素子50では、図5に示すように、光検出部14の層構造は、n-GaInAsP光閉じ込め層28が無いことを除いて、実施例1の導波路型受光素子10の光検出部14の層構造と同じである。

光減衰部 18 の層構造では、歪 MQW 層 42 と n-電極 40 との間の層構造が、n-GaInAsP 光ガイド層 28 が無いことを除いて、実施例 1 の導波路型受光素子 10 の光検出部 14 の層構造と同じであり、他方、歪 MQW 層 42 から吸収制御用 p-電極 16 との間の層は、全て、歪 MQW 層 42 と n-電極 40 との間の半導体層の導電型と同じ n 型半導体層で形成されている。即ち、それは、歪 MQW 層 42 上に順次形成された n-AlGaInAs 層 52 と、n-InP 層 54 と、n-GaInAs コンタクト層 56 とから構成されている。

本実施例の導波路型受光素子 50 では、光検出部 14 の光吸収層 30 上の半導体層と光減衰部 18 の歪 MQW 層 42 上の半導体層との間の pn 接合によって、光検出部 14 の電極対 12、40 と光減衰部 18 の電極対 16、40 とが電氣的に分離されている。

### 実施例 3

本発明に係る導波路型受光素子の実施例 3 は、光減衰部にモードフィールド変換器 (MFC) を集積した、導波路型受光素子である。図 6 は、その層構造を示す断面図である。

本実施例の導波路型受光素子 60 (以下、簡単に素子 60 と言う) は、実施例 1 の光検出部 14 と同じ構成の光検出部 62 と、実施例 1 の素子 10 の光減衰部 18 の構成に加えて、モード・フィールド変換器を備えた光減衰部 64 とから構成されている。光検出部 62 と光減衰部 64 とは、ポリイミドで形成された電氣的分離性と光透過性とを兼ね備えた電氣的分離部 65 により電氣的に分離されている。

光検出部 62 は、n-InP 基板 72 上に、ダブルヘテロ構造を形成するように順次積層された、n-InP 層 74、n-AlGaInAs 光閉じ込め層 76、n-GaInAsP 光ガイド層 78、i-GaInAsP 光吸収層 80、p-AlGaInAs 光閉じ込め層 82、p-InP 層 84、p-GaInAs コンタクト層 86、及び基板の上下に設けられた光検出用 p-電極 88 と Au メッキされた AuGeNi 合金製の n-電極 90 で構成されている。光検出部 62 において、n-GaInAsP 光ガイド層 78 は導波路として機能する。

図6に示すように、光減衰部64は、光検出部62側から光入射面104に向かって順に一体的に形成された可変減衰部92と、モード・フィールド変換部94と、導波路部96とから構成されている。

可変減衰部92は、実施例1の光減衰部18と同じ構成になっている。即ち、可変減衰部92は、 $n$ -InP基板72上に、光検出部62と共通に積層された、 $n$ -InP層74、 $n$ -AlGaInAs光閉じ込め層76、 $n$ -GaInAsP光ガイド層78と、更にその上に積層された $i$ -GaInAs層及びAlInAs層からなる歪MQW層98と、更にその上に光検出部62と共通に積層された $p$ -AlGaInAs光閉じ込め層82、 $p$ -InP層84、 $p$ -GaInAsコンタクト層86と、及び基板の上下に設けられた吸収制御用 $p$ -電極100と光検出部62と共通の $n$ -電極90で構成されている。

可変減衰部92において、 $i$ -GaInAs/AlInAs層からなる歪MQW層98は光吸収層とし機能し、モード・フィールド変換部94、導波路部96及び可変減衰部92を通じて、 $n$ -GaInAsP光ガイド層78は導波路として機能する。

モード・フィールド変換部94では、歪MQW層98を構成する $i$ -GaInAs層及びAlInAs層の各々が、 $n$ -GaInAsP光ガイド層78に対して入射光を受光する光入射面104に向かう方向に徐々に薄くなるように成膜されていて、それにより歪MQW層98は $n$ -GaInAsP光ガイド層78に対して光入射面104に向かう方向に下方に傾斜したテーパ部となるように形成されている。

テーパ部を備えていることを除いて、モード・フィールド変換部94は、可変減衰部92と同じ層構成を備えている。

導波路部96は、 $p$ -GaInAsコンタクト層86と吸収制御用 $p$ -電極100に代えて $p$ -InP層84上にSiNx層102を有すること、及び歪MQW層98が存在しないことを除いて、可変減衰部92と同じ層構成を備えている。また、 $n$ -GaInAsP光ガイド層78の端面を含む素子60の光減衰部64側端面は、入射光を受光する光入射面104を構成し、その面には反射防止膜104が設けてある。

### 実施例 3 の作製方法

以下に、図 7 から図 9 を参照しつつ、実施例 3 の素子 60 の作製工程を説明する。

(1) 先ず、図 7 に示すように、エピタキシャル成長法により  $n\text{-InP}$  基板 72 上に順次、 $n\text{-InP}$  層 74、 $n\text{-AlGaInAs}$  光閉じ込め層 76、 $n\text{-GaInAsP}$  光ガイド層 78、 $i\text{-GaInAsP}$  光吸収層 80、 $p\text{-AlGaInAs}$  光閉じ込め層 82 を成膜する。

(2) 次いで、 $p\text{-AlGaInAs}$  光閉じ込め層 82 上に  $\text{SiO}_2$  膜からなるマスク 106 を図 8 (b) に示すように形成し、可変減衰部 92、モード・フィールド変換部 94、導波路部 96 の領域の  $p\text{-AlGaInAs}$  光閉じ込め層 82、 $i\text{-GaInAsP}$  光吸収層 80 をエッチングして除去する。続いて、 $\text{SiO}_2$  マスク 106 を成長防止マスクとして使用して、MOCVD 法、ガスソース MBE 法等により、歪 MQW 層 98 を構成する  $i\text{-GaInAs}$  層及び  $\text{AlInAs}$  層、更に  $p\text{-GaInAsP}$  光閉じ込め層 82 を選択成長する。

これにより、 $\text{SiO}_2$  マスク形状に応じて、図 8 (a) に示すように、歪 MQW 層 98 を構成する各層の層厚が  $n\text{-GaInAsP}$  光ガイド層 78 に対して光入射面に向う方向に徐々に薄くなるように成膜され、テーパー状に歪 MQW 層 98 が形成される。

(3) 図 9 に示すように、 $\text{SiO}_2$  マスク 106 を除去し、 $p\text{-GaInAsP}$  光閉じ込め層 82、 $p\text{-InP}$  クラッド層 84、 $p\text{-GaInAsP}$  コンタクト層 86 を全面成長する。

(4) 光検出部 62 及び光減衰部 64 をエッチングしてメサストライプ構造を形成し、またモード・フィールド変換部 94、導波路部 96 の領域の  $p\text{-GaInAsP}$  コンタクト層 86 は予め除去する。次いで、必要な領域にポリイミドを塗布し、次いで不要部分のポリイミドをホトリソグラフィ及びエッチングにより除去して電氣的分離部 65 を形成する。更に、電極 88、90、100 を形成し、光入射面 104 に反射防止膜 104 をコーティングする。

これにより、図 6 に示す素子 60 を得ることができる。

本実施例において、実施例 1 と同様に、印加電圧を調整することにより、素子 60 に入射した入射光を光減衰部 64 において入射光の強度に応じて所定のレベルに可變的に減衰させ、次いで光検出部 62 で電気信号として検出する。

これにより、微小光信号強度の受光に対して十分な感度を有するように構成した受光素子であっても、入射光強度が大きい場合には、光減衰部 64 での減衰を大きくすることにより、逆に入射光強度が小さい場合には、光減衰部 64 での減衰を小さくすることにより、光検出部の感度を可變にでき、広帯域にわたり強度幅の広い信号光に対して光変換の線型性を損なわない広ダイナミックレンジ特性を備えることができる。

尚、本実施例において、光減衰部 64 の光吸収層 98 を歪 MQW に代えて、超格子構造にすることもできる。

#### 実施例 4

本実施例の導波路型受光素子 110 は、光検出部と光減衰部とを電氣的に分離する電氣的分離部 112 として、実施例 3 のポリイミドに代えて化合物半導体にプロトンを注入して生成した半絶縁性化合物半導体、例えば半絶縁性 InP を用いている。光検出部及び光減衰部の層構成は、実施例 3 の層構成と同じである。

なお、光減衰部のモード・フィールド変換部は、この実施例 3 及び 4 に示した SiO<sub>2</sub> マスクを用いた選択エリア成長方法の他に、リッジの幅を接合面に平行に減少させてテーパ状に形成したリッジストライプを形成し、その上に MQW 層を成長させる方法を用いても作製可能である。

光入射面は入射光に垂直でなく斜め端面としても良い。

また、本発明に係る導波路型受光素子を構成する材料として、以上の説明では、InP 基板上に積層する材料として GaInAsP/InP、AlGaInAs/InP を用いたが、この他に GaInAsSb/InP、AlGaAs/GaAs、GaInAsP/GaAs を用いても良い。また、本発明に係る導波路型受光素子の基板は、n 型化合物半導体基板の他、p 型化合物半導体基板、Semi-Insulating (S. I.) 化合物半導体基板でも良い。

## 請求の範囲

1. 第1の光吸収層と、電気信号取り出しのための第1の電極対とを少なくとも有する光検出部と、及び

光検出部と光入射面との間に設けられ、第1の光吸収層と光学的に結合された第2の光吸収層と、第2の光吸収層に電圧を印加するために第1の電極対とは電氣的に分離して形成された第2の電極対とを少なくとも有する光減衰部と

を備えることを特徴とする導波路型受光素子。

2. 前記光減衰部の第2の光吸収層を挟むクラッド層が、相互に異なる導電型の半導体層で形成されていることを特徴とする請求項1に記載の導波路型受光素子。

3. 前記光減衰部の第2の光吸収層を挟むクラッド層が、同じ導電型の半導体層で形成されていることを特徴とする請求項1に記載の導波路型受光素子。

4. 第1の電極対の一方に接する第1の光吸収層のクラッド層と第2の電極対の一方に接する第2の光吸収層のクラッド層との接合面がpn接合で形成されていることを特徴とする請求項3に記載の導波路型受光素子。

5. 前記光減衰部の第2の光吸収層が、前記光検出部の第1の光吸収層の吸収端波長より短い吸収端波長を有する多重量子井戸構造で形成されていることを特徴とする請求項1から4のうちのいずれか1項に記載の導波路型受光素子。

6. 前記光減衰部の第2の光吸収層が、前記光検出部の第1の光吸収層の吸収端波長より短い吸収端波長を有する歪超格子構造で形成されていることを特徴とする請求項1から4のうちのいずれか1項に記載の導波路型受光素子。

7. 前記光減衰部と前記光入射面との間にモードフィールド変換器が設けられ

ていることを特徴とする請求項 1 から 6 のうちのいずれか 1 項に記載の導波路型受光素子。

8. 前記光減衰部と前記光検出部との間に光透過性の電氣的分離部を備えていることを特徴とする請求項 1 から 7 のうちのいずれか 1 項に記載の導波路型受光素子。

9. 前記電氣的分離部の光の伝搬方向の光路長が、入射光の波長の  $1/2$  の長さの整数倍に設定されていることを特徴とする請求項 8 に記載の導波路型受光素子。

10. 前記電氣的分離部が、化合物半導体又は半絶縁性化合物半導体で形成されていることを特徴とする請求項 8 又は 9 に記載の導波路型受光素子。

11. 前記電氣的分離部が、絶縁性有機材で形成されていることを特徴とする請求項 8 から 10 のうちのいずれか 1 項に記載の導波路型受光素子。

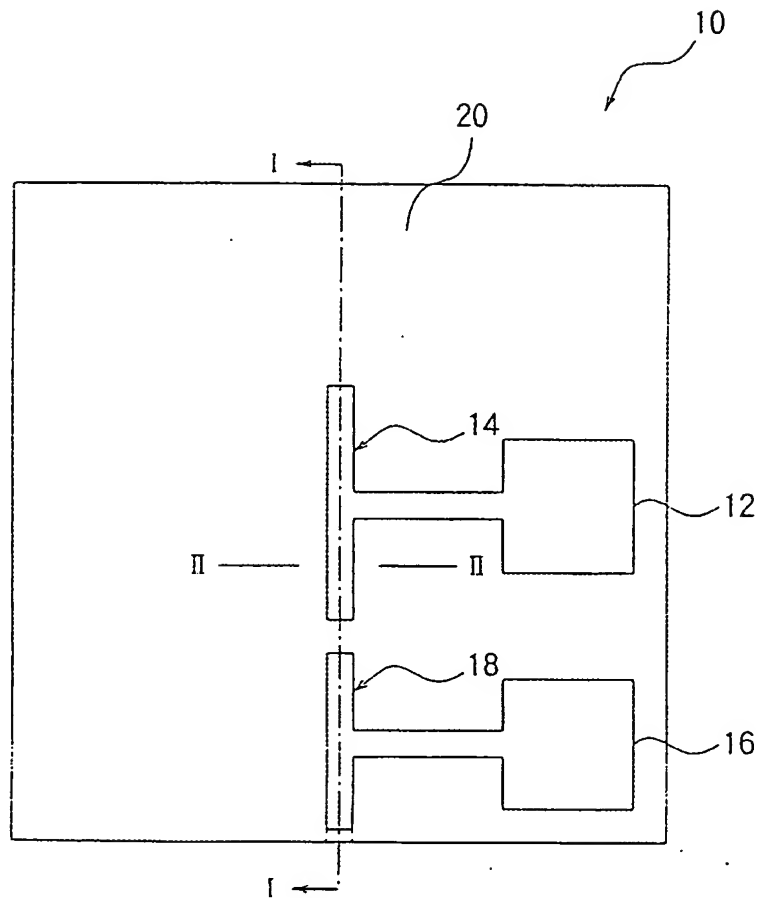
12. 第 1 の光吸収層と、電気信号取り出しのための第 1 の電極対とを少なくとも有する光検出部と、及び

光検出部と光入射面との間に設けられ、第 1 の光吸収層と光学的に結合された第 2 の光吸収層と、第 2 の光吸収層に電圧を印加するために第 1 の電極対とは電氣的に分離して形成された第 2 の電極対とを少なくとも有する光減衰部と

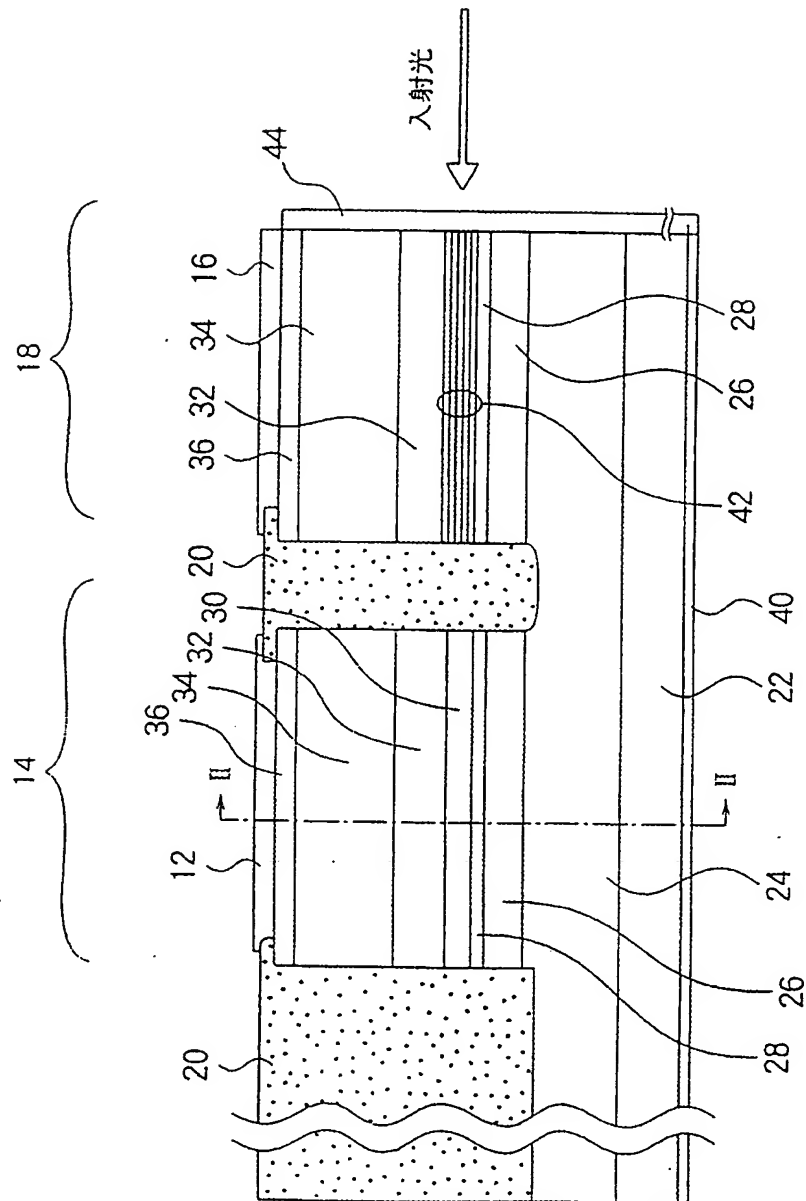
を備える導波路型受光素子の駆動方法であって、

前記第 2 の電極対に逆方向バイアス電圧を印加して、光減衰部の光吸収量を可変にすることを特徴とする導波路型受光素子の駆動方法。

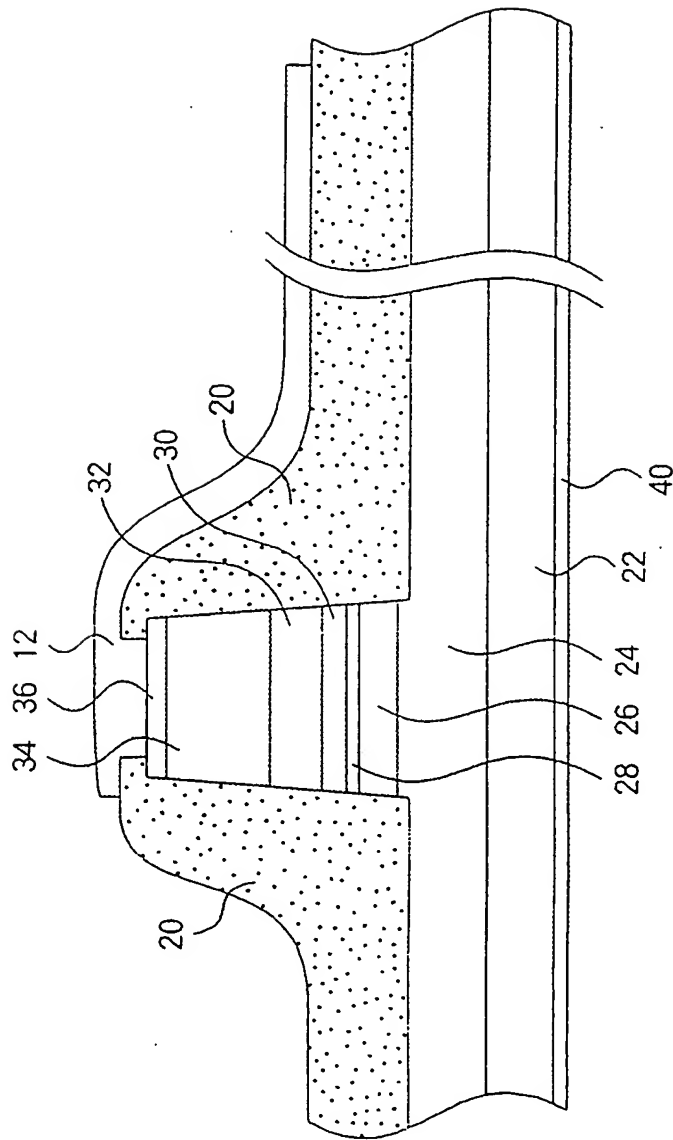
[ 1 ]



【図 2】

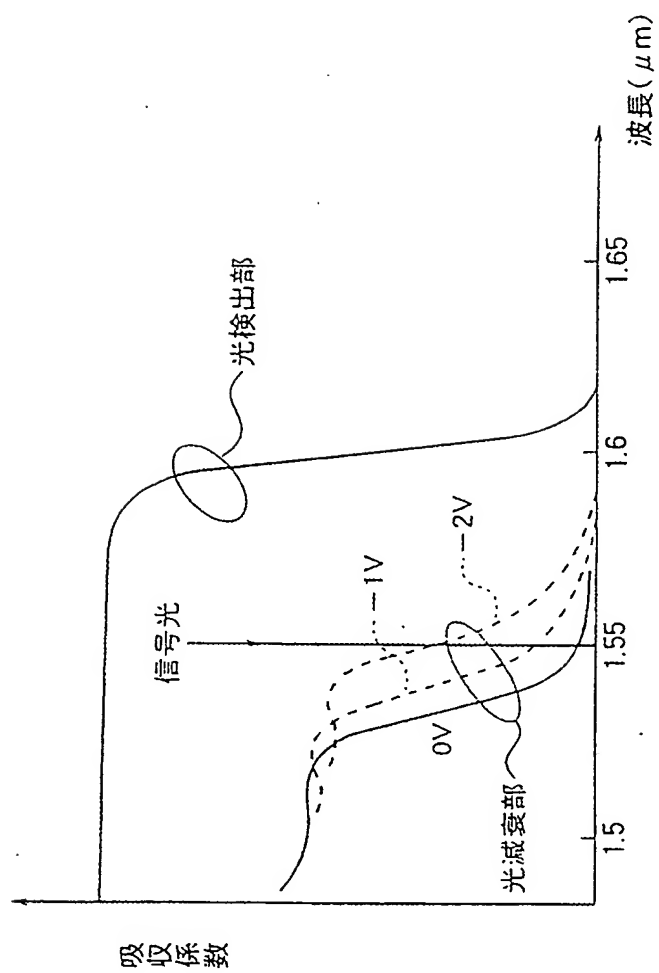


【図 3】

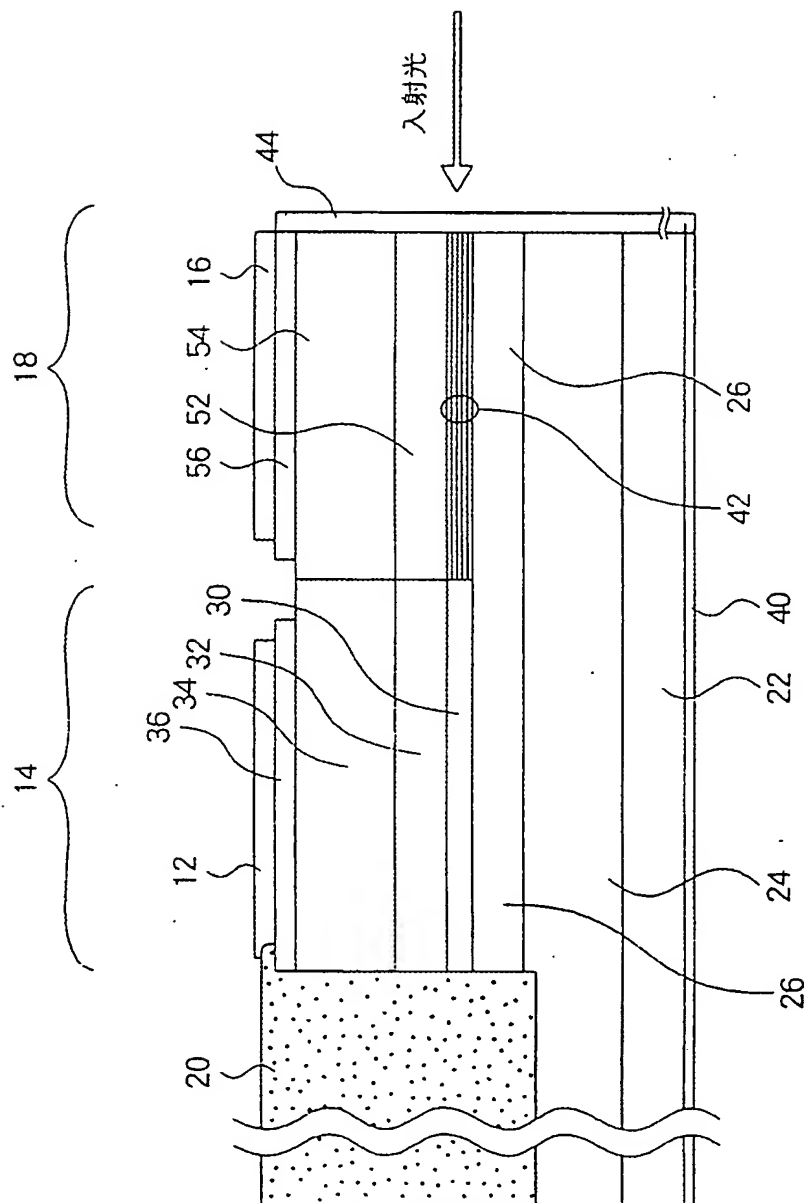


4/11

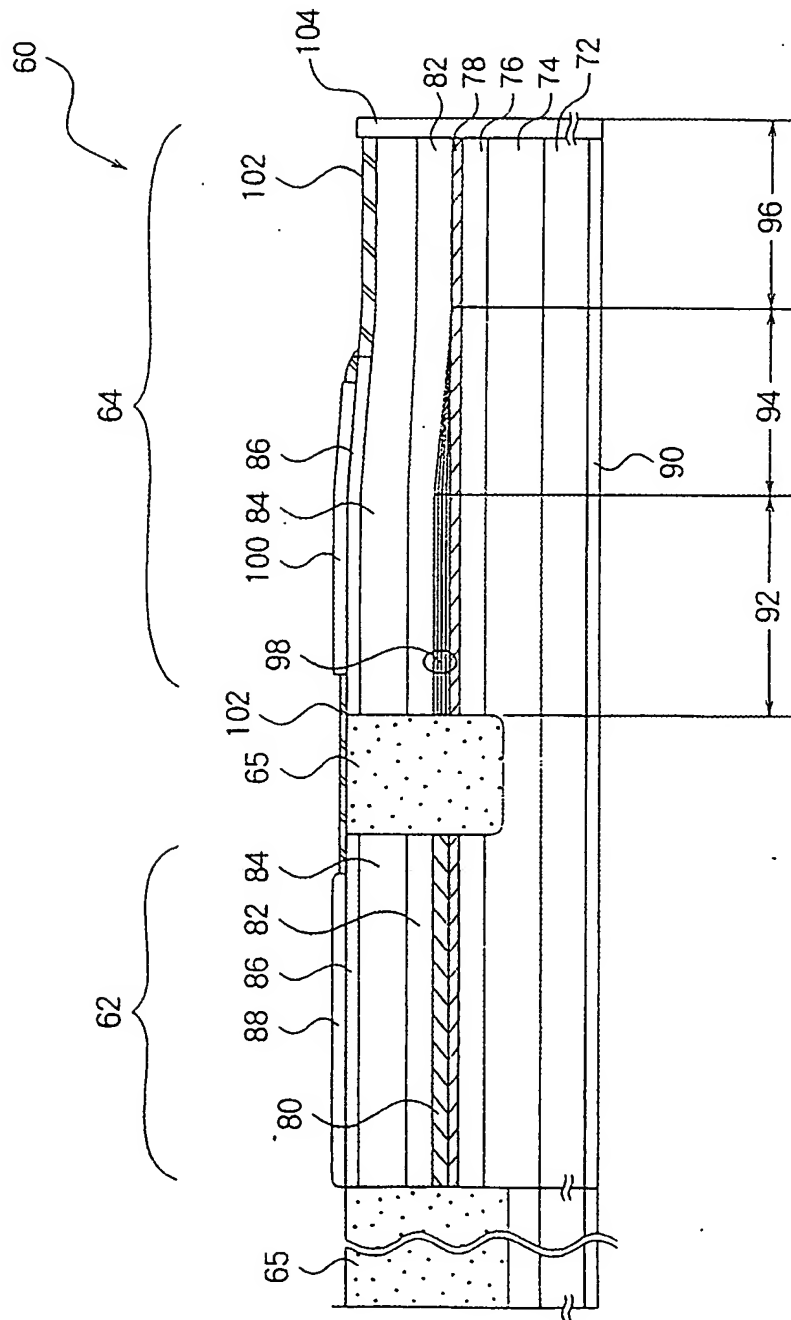
【図 4】



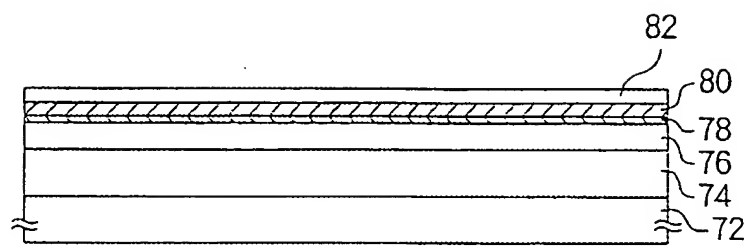
【図 5】



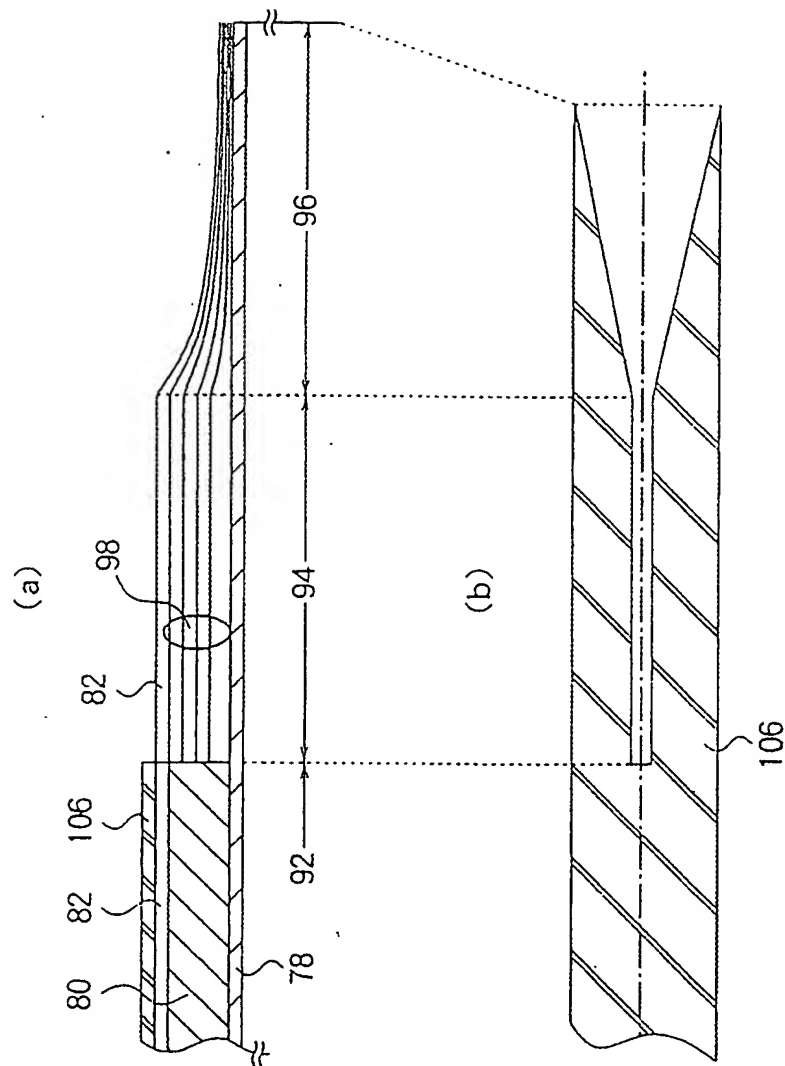
【図 6】



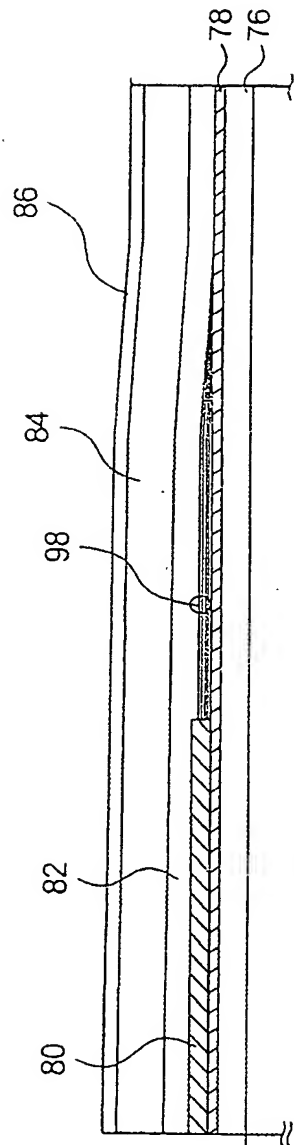
[ 7 ]



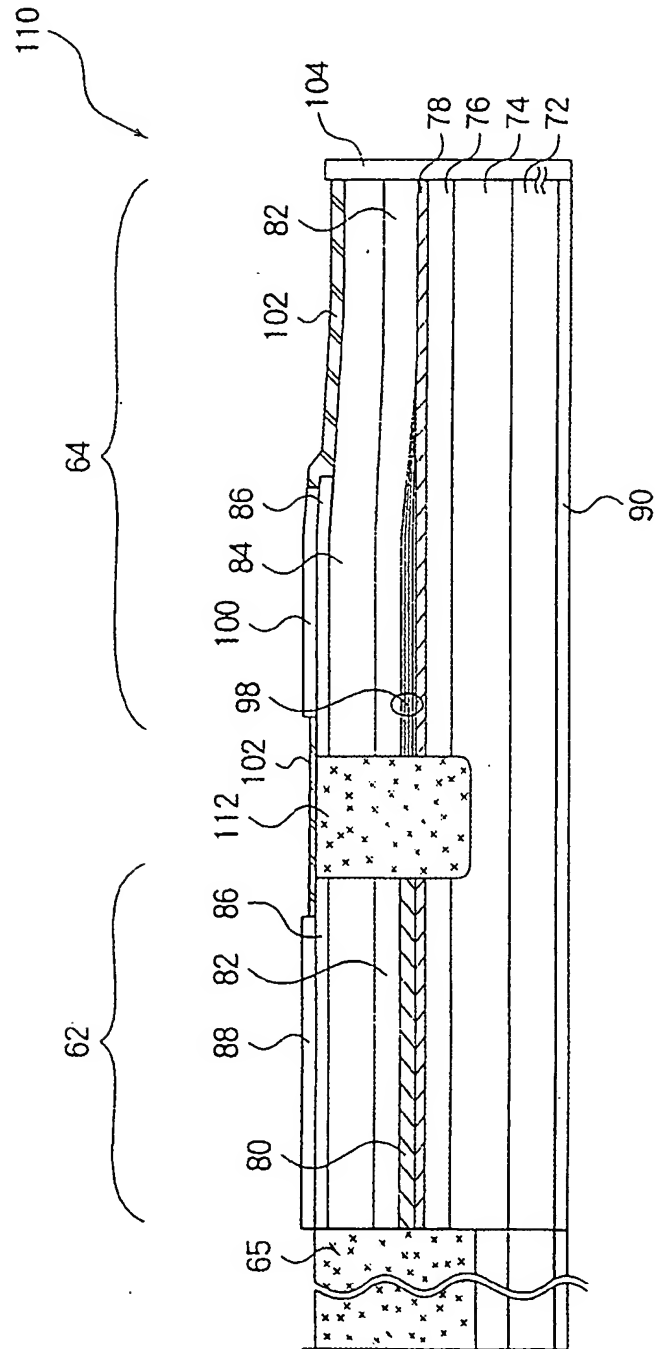
【図 8】



[図 9]

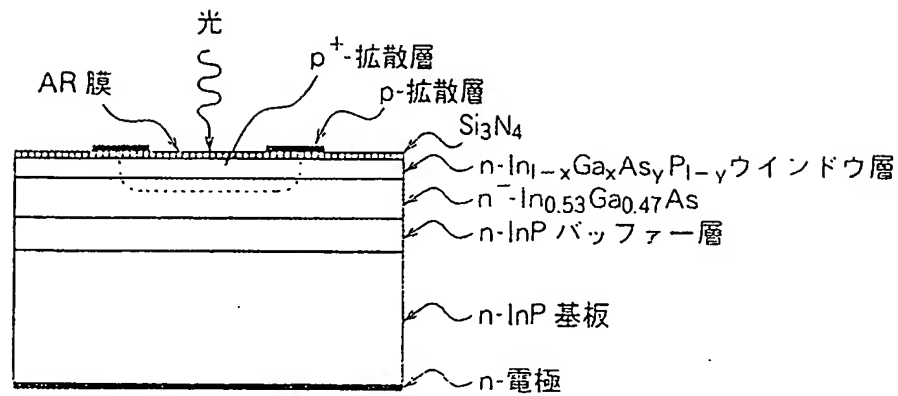


【図 10】

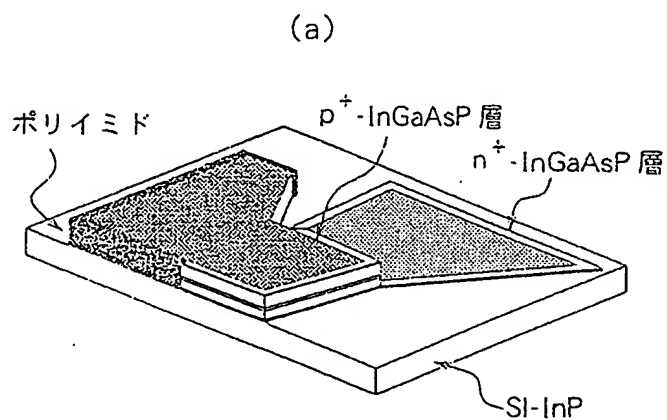


11/11

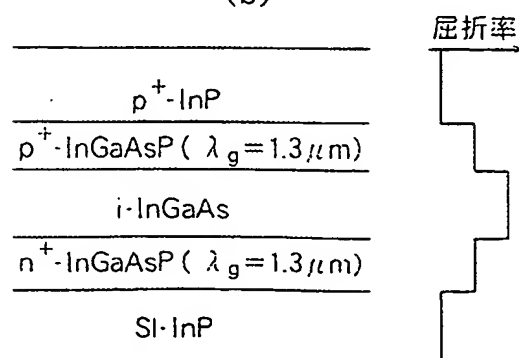
【図 1 1】



【図 1 2】



(b)



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP96/02425

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl<sup>6</sup> H01L31/10, G02F1/025

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl<sup>6</sup> H01L31/10, G02F1/025

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1965 - 1996

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971 - 1996

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP, 4-98880, A (NEC Corp.), March 31, 1992 (31. 03. 92) (Family: none)	1, 2, 8, 10, 12 3, 4
Y A	JP, 7-79203, A (Hitachi Cable, Ltd.), March 20, 1995 (20. 03. 95) (Family: none)	12
A	JP, 4-233292, A (American Telephone and Telegraph Co.), August 21, 1992 (21. 08. 92)	5, 6
A	JP, 3-102515, A (Hitachi, Ltd.), April 26, 1991 (26. 04. 91) (Family: none)	5, 6
A	JP, 5-150198, A (Nippon Telegraph & Telephone Corp.), June 18, 1993 (18. 06. 93) (Family: none)	5, 6
A	JP, 3-96917, A (Nippon Telegraph & Telephone Corp.), April 22, 1991 (22. 04. 91) (Family: none)	7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

December 20, 1996 (20. 12. 96)

Date of mailing of the international search report

January 8, 1997 (08. 01. 97)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Facsimile No.

Authorized officer

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP96/02425

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 7-66502, A (Fujitsu Ltd.), March 10, 1995 (10. 03. 95) & EP, 641049, A1	7
A	JP, 63-163407, A (Hitachi, Ltd. and another), July 6, 1988 (06. 07. 88) (Family: none)	9
A	JP, 2-33982, A (NEC Corp.), February 2, 1990 (02. 02. 90) (Family: none)	10
A	JP, 60-4256, A (Toshiba Corp.), January 10, 1985 (10. 01. 85) (Family: none)	11

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))			
H01L31/10, G02F1/025			
B. 調査を行った分野			
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))			
H01L31/10, G02F1/025			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの			
日本国実用新案公報 1965-1996 日本国公開実用新案公報 1971-1996			
国際調査で使用了電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	
Y	JP, 4-98880, A (日本電気株式会社) 31. 3月. 1992 (31. 03. 92) (ファミリー なし)	1, 2, 8, 10, 12 3, 4	
A			
Y	JP, 7-79203, A (日立電線株式会社) 20. 3月. 1995 (20. 03. 95) (ファミリー なし)	12	
A	JP, 4-233292, A (アメリカン テレフォン アンド テレグラフ カンパニー) 21. 8月. 1992 (21. 08. 92)	5, 6	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 20. 12. 96		国際調査報告の発送日 08.01.97	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 近 藤 幸 浩 印	2K 8422
		電話番号 03-3581-1101 内線 3255	

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP, 3-102515, A (株式会社 日立製作所) 26. 4月. 1991 (26. 04. 91) (ファミリー なし)	5, 6
A	JP, 5-150198, A (日本電信電話株式会社) 18. 6月. 1993 (18. 06. 93) (ファミリー なし)	5, 6
A	JP, 3-96917, A (日本電信電話株式会社) 22. 4月. 1991 (22. 04. 91) (ファミリー なし)	7
A	JP, 7-66502, A (富士通株式会社) 10. 3月. 1995 (10. 03. 95) & EP, 641049, A1	7
A	JP, 63-163407, A (株式会社 日立製作所 外1名) 06. 7月. 1988 (06. 07. 88) (ファミリー なし)	9
A	JP, 2-33982, A (日本電気株式会社) 02. 2月. 1990 (02. 02. 90) (ファミリー なし)	10
A	JP, 60-4256, A (株式会社 東芝) 10. 1月. 1985 (10. 01. 85) (ファミリー なし)	11

様式PCT/ISA/210 (第2ページの続き) (1992年7月)